

УДК. 629.113.004

**МАЛОЕНЕРГОЄМНІ ВИХРОВІ СЕПАРАТОРИ
ГЕТЕРОГЕННИХ СУМІШЕЙ**

Л.В.Кнауб

Військова академія, м. Одеса

У статті наведено розроблені дослідні напівпромислові вихрові газодинамічні сепаратори для очищення зернової суміші від домішок та результати по збільшенню ефективності і чіткості сепарації, що підтверджують достовірність математичного опису газодинамічних процесів, на основі яких формулюється наукова гіпотеза вихрової сепарації.

Ключові слова: вихровий сепаратор, гетерогенна суміш, коефіцієнт ефективності, коефіцієнт чіткості, концентрація компонент, аеродинамічний опір, енергоємність.

Вступ. Сотні років проводиться усвідомлене удосконалення існуючих і створення нових зразків сепараторів для очищення зернових культур від домішок, сортування за класами та очищення розмелу кам'яного вугілля, видалення доломіту з піску і т. ін. Тисячі науковців зайняті розробкою різних вібраційних коливальних систем для збільшення інтенсивності сепарації і, приблизно, така ж плеяда вчених і конструкторів працюють над створенням надійних калібрувальних сит для сепараторів різного призначення. Великих успіхів було досягнуто у вказаних наукових напрямках. Проте, металоемність, енергоємність, економічна ефективність та ін. показники нині існуючих сепараторів не досягли бажаного рівня вимог третього тисячоліття. Звідси стає очевидним факт нескінченного, безперервного розвитку наукової творчості для сепарування [1]. Актуальність наукового напрямку очевидна і неспростовна. Проблема усунення рухливих елементів, дорогих малонадійних калібрувальних сит в сепараторах, на перший погляд, здається нерозв'язною, а якщо і вирішувана, то тільки альтернативними підходами до процесів, які неодмінно є присутніми в робочому процесі сепарації. У існуючих розроблених математичних моделях сепарації вони або не враховуються, або виключаються прийнятими допущеннями. На сьогоднішній день ця проблема залишається головною, вона формулює свої вимоги до конструкцій сепараторів, математичних моделей і початкової гетерогенної суміші, її окремих компонент. Зводяться вони до того, що потрібно досить точно знати теплофізичні параметри, аеродинамічні якості, сили, що діють на компоненту в потоці несучого середовища, їх взаємодію і ряд інших параметрів. Отже, потрібно мати повну характеристику про гетерогенну суміш, що підлягає сепарації: діапазон розмірів, можливі зміни деяких параметрів, характер поведінки у несучому потоці і за часом, і по координатах (див. аспіратори [1]). Вказана проблема, окрім наведених аргументів, представляє складність ще й тому, що

процес сепарації помилково прийнятий і розраховується як стаціонарний, тобто параметри міняються тільки за координатами. Проте, при високій відносній швидкості несомої і несучої фаз, широких діапазонах густини компонент і гранулометричного складу гетерогенної суміші виникають процеси теплообміну, циркуляції швидкості, зміни аеродинамічного опору і швидкості зміни густини мікрооб'єму суміші за часом і по координатах. Додатковим аргументом, що ускладнює вирішення вказаної проблеми, являється змінний масовий початковий склад по компонентах. По цих аргументах процеси сепарації можна тільки умовно вважати сталими. Перерозподіл концентрацій компонент з різними розмірами і густиною по координатах в часі під дією змінних сил і енергії коливань відносно кінчної гвинтової траєкторії руху компонент це процес короткочасний, але несталий. Дана робота не претендує на першість в цьому напрямі вирішення вказаної проблеми, існує ряд наукових розробок [2, 3, 4 та ін.], у тому числі і наші дослідження, які показують вирішення її (проблеми), шляхом використання газодинамічних вихрових сепараторів [6-10]. У вказаних вище роботах наведено ряд способів сепарування сумішей, але робіт по використанню вихрового ефекту для розділення гетерогенних потоків на окремі складові із заданою мірою чистоти практично немає, хоча ефект Ранка все більше і більше знаходить застосування в техніці (холодильники, циклони, вихрові карбюратори і так далі). Практично відсутні роботи по аналізі впливу геометричного оформлення апарату на ефект сепарації, окрім робіт по зміні діаметру труби і сопла, і зовсім немає робіт по аналізу зовнішнього збудження на вихровий гетерогенний потік, окрім роботи [5]. Пов'язано це передусім з тим, ймовірно, що для такої оцінки потрібні достовірні відомості про вплив форми вихору, його перестроювання, на ефект сепарації.

Цілі і завдання. Виходячи із сказаного витікають цілі і завдання досліджень по вдосконаленню існуючих газодинамічних сепараторів і наукове наближення до повної вирішеної поставленої проблеми. Однією з основних цілей цієї роботи є визначення впливу геометричних форм сепаратора на ефект сепарації гетерогенних сумішей на якісні компоненти і відходи, досягнення якої можливе тільки при достовірному теоретичному і коректному експериментальному рішенні задачі визначення впливу геометричного оформлення вихрових зон на ефективність і чіткість сепарації.

Об'єкт і метод дослідження. До опису теорії робочого процесу газодинамічного вихрового сепаратора розглянемо призначення і роботу окремих газових потоків, що проходять по внутрішніх його об'ємах. На рис.1, *a, б, с* приведені схеми для сепарації гетерогенних потоків, зокрема зернових сумішей, що надходять до елеваторів з середніми параметрами. Сепаратор являється трубою 1, з регулятором робочого тиску несучої фази (повітря) 2. Для порівняння оформлення сепараторів виконане циліндричним (рис.1, *a*), у формі спідниці 3 з кутом конусності α (рис.1, *б*) і конічним (рис.1, *с*). Уся довжина сепаратора по осі z ділиться (умовно) на три зони вихорів: I - вільних; II - вимушених; III - потенційних. У середині сепаратора концентрично встановле-

ний пневматичний пульсатор зовнішніх збуджень 7, з вихідними регулюючими шпарами 15, вихідний тиск з яких регулюється регулятором 9. Завантажувальний пристрій 10 є сопло Лавалю з виходом 13, рівним вхідному тангенціальному перерізу (сопла трубки Ранка) [7]. Вхід повітря здійснюється по осі симетрії 14 сопел 10, а гетерогенної суміші 16 через завантажувальний регулюючий пристрій 12 в область критичного перерізу 11 сопла Лавалю. На початку зони вільних вихорів I встановлений реактор управління потоком 8, який спільно з тангенціальним входом 13 сприяє переоформленню плоскопоступального руху потоку 14 в обертально-поступальний рух навкруги і уздовж осі z по траєкторії 17. Таким чином, несомо повітрям гетерогенна суміш знаходиться у гвинтовому русі від початку вхідного пристрою 13 до виходу 6 відпрацьованої несомої фази. При проходженні вихрових зон II і III внаслідок дії аеродинамічних сил суміш розділяється на окремі складові, які концентрується у своїх координатах 4, а через вікна 5 виводяться з сепаратора окремими потоками. Числа вікон 5 і зон 4 обираються у відповідності з числом фракцій, що підлягають виділенню із складу гетерогенної суміші. Частота зовнішніх збуджень пульсатором 7 обертального потоку визначається кутовою швидкістю вихору ω (рис.1, б) і числом регульованих перерізів пульсатора 15, а амплітуда збуджень компонент тиском усередині сепаратора і енергією потоків з вібратора, що встановлюється регулятором 9. Рухливі деталі, вузли, механізми, електроприводи і сита в конструкції усунені.

Результати досліджень. Математичне моделювання оцінки зміни параметрів термогазодинамічних процесів розділення полідисперсних гетерогенних сумішей на окремі складові проведемо на основі законів механіки і термодинаміки з введенням коефіцієнтів ефективності η_e і чіткості сепарації η_c , які показують наявність невідсепарованих шкідливих компонент в готовій продукції (η_e) і присутність доброякісної компоненти у відходах (η_c), як це рекомендовано для обробки результатів сепарації [1, 5, 7,8].

Математична модель сепарації гетерогенної полідисперсної суміші (зернової суміші) представляється системою диференціальних рівнянь, з яких визначаються концентрації і координати окремих компонент при гвинтовому русі зі змінним радіусом обертального руху і амплітудою вимушених асиметричних коливань відносно траєкторії із загасанням по координаті r (рис.1, б). При розробці математичної моделі прийняті наступні допущення:

- процес сепарації адіабатний;
- зіткнень гетерогенних складових немає;
- аеродинамічні параметри компонент відомі і незмінні;
- тертя в потоках і в пограничних гідродинамічних шарах не враховується;

- компоненти по вихрових зонах схильні до дії сил земного тяжіння, Коріоліса, Архімеда, відцентрових, сил руху по лінії струму (при змінній траєкторії), аеродинамічного опору і сил збудження від вібратора [6].

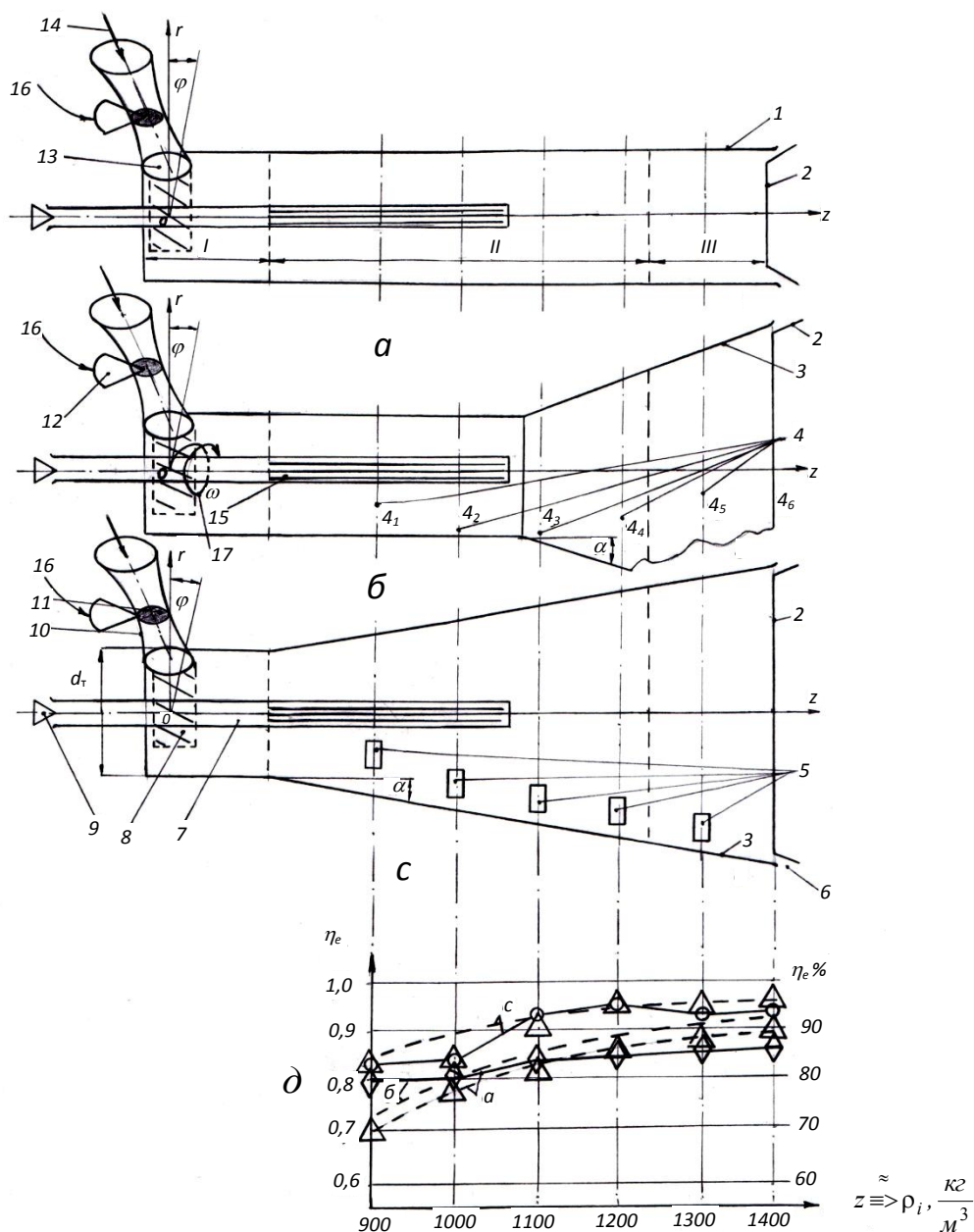


Рис.1. Газодинамічні вихрові сепаратори полідисперсних гетерогенних сумішей: *a* - циліндричний; *б* - у формі спідниці; *с* - конічний; 1 - циліндрична труба; 2 - регулятор тиску повітря; 3 - спідниця; 4 - паски розташування забірників фракцій; 5 - приймачі фракцій; 6 - вихід відпрацьованої фази; 7 - пульсатор зовнішніх збуджень; 8 - реактор управління; 9 - регулятор тиску зовнішнього збудження; 10 - завантажувальний пристрій у вигляді сопла Лавалю; 11 - критичний переріз сопла Лавалю; 12 - завантажувальне регулююче облаштування несомої фракції; 13 - тангенціальний входний переріз; 14 - підведення повітря; 15 - вихідні перерізи пульсатора; 16 - введення гетерогенної суміші; 17 - траєкторії вихорів; I - зона вільних вихорів; II - зона вимушених вихорів; III - зона потенційних вихорів, φ, r, z - координати циліндричної системи; α - кут конусності, d_T - діаметр труби; η_e - коефіцієнт ефективності сепарації усієї суміші від домішок; η_{ei} - коефіцієнт ефективності відсепарування ρ_i - ої компоненти з суміші ($i=1-6$); \bigcirc — η_{ea} ; \diamond — η_{eb} ; \triangle — η_{ec} ;
 ————— - експеримент; - - - - - розрахунок

Прийняті допущення обґрунтовуються тим, що циркуляція швидкості обтікання зерен є присутньою при відносно великому перепаді швидкостей несучого потоку (повітря) і несомих компонентів, що відрізняються густиною, розмірами, і орієнтацією осей симетрії, наприклад, татарська гречка і ріжки або кукіль і ріжки та ін., це, по-перше, по-друге, вважаємо, а експеримент підтверджує, що у кінці зони вільного вихору гетерогенна фаза рівномірно (відносно) розподілена по перерізі потоку, обертальний рух потоку суміші з повітрям після реактора управління підкоряється закону обертання твердого тіла на довжині одного калібру труби $l_t = d_t$.

Приведемо повну математичну модель вихрової сепарації (1 - 7) :

- рівняння руху для зони вільних вихорів (рис.1)

$$\left. \begin{aligned} w_r \frac{\partial w_r}{\partial r} + w_z \frac{\partial w_r}{\partial z} + \frac{w_\varphi^2}{r} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left(\frac{\partial^2 w_r}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 w_r}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w_r}{\partial r} - \frac{w_r}{r^2} \right); \\ w_r \frac{\partial w_\varphi}{\partial r} + w_z \frac{\partial w_\varphi}{\partial z} + \frac{w_r w_\varphi}{r} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left(\frac{\partial^2 w_\varphi}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 w_\varphi}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w_\varphi}{\partial r} - \frac{w_\varphi}{r^2} \right); \\ w_r \frac{\partial w_z}{\partial r} + w_z \frac{\partial w_z}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w_z}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w_z}{\partial r} \right), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де w, ρ, ν - лінійні швидкості, густина, в'язкість мікрооб'єму гетерогенної суміші;

p - тиск від дії сил, що сприймає мікрооб'єм по лінії струму;

r, z, φ - координати циліндричної системи;

- рівняння суцільності

$$\frac{\partial(\rho w_r)}{\partial r} + \frac{\partial(\rho w_z)}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

— рівняння збереження кількості вихрового руху

$$\left. \begin{aligned} \rho_r \frac{\partial w_r}{\partial \tau} &= -\frac{\partial p_r}{\partial r}; \\ \rho_\varphi \frac{\partial w_\varphi}{\partial \tau} &= -\frac{\partial p_\varphi}{\partial \varphi}; \\ \rho_z \frac{\partial w_z}{\partial \tau} &= -\frac{\partial p_z}{\partial z}; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де $\partial \tau = \frac{1}{bn} d\varphi$, у котрому n — частота обертання вихору;

— рівняння зміни кількості руху компонент при зовнішньому збуренні, направлено по лінії струму

$$\left. \begin{aligned} \rho_r \frac{\partial w_{r_1}}{\partial \tau} + \rho_{r_2} \frac{\partial w_{r_2}}{\partial \tau} &= -\frac{\partial p_{r_1}}{\partial r_1} - \frac{\partial p_{r_2}}{\partial r_2}; \\ \rho_\varphi \frac{\partial w_{\varphi_1}}{\partial \tau} + \rho_{\varphi_2} \frac{\partial w_{\varphi_2}}{\partial \tau} &= -\frac{\partial p_{\varphi_1}}{\partial \varphi_1} - \frac{\partial p_{\varphi_2}}{\partial \varphi_2}; \\ \rho_z \frac{\partial w_{z_1}}{\partial \tau} + \rho_{z_2} \frac{\partial w_{z_2}}{\partial \tau} &= -\frac{\partial p_{z_1}}{\partial z_1} - \frac{\partial p_{z_2}}{\partial z_2}; \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де 1–2 — інтервал зміни координат r, z, φ за часом τ ,

— рівняння зміни концентрації компонент

$$\left. \begin{aligned} \rho_r \frac{\partial c_r}{\partial \tau} + \rho_r \bar{w} \operatorname{grad} c_r &= I_r - \operatorname{div}(\rho_r c_r w_r); \\ \rho_\varphi \frac{\partial c_\varphi}{\partial \tau} + \rho_\varphi \bar{w} \operatorname{grad} c_\varphi &= I_\varphi - \operatorname{div}(\rho_\varphi c_\varphi w_\varphi); \\ \rho_z \frac{\partial c_z}{\partial \tau} + \rho_z \bar{w} \operatorname{grad} c_z &= I_z - \operatorname{div}(\rho_z c_z w_z); \\ \frac{\partial^2(\Delta r_i)}{\partial \tau^2} + \left(\frac{\Delta r \cdot p(r)}{m_i} \right) [2\pi(r_\tau - r_\Pi) - \Delta r_i z] &= \frac{\Delta r_{i_{\max}} \sin\left(\frac{\omega_\varphi}{z} \cdot \tau\right)}{\left[1 - \frac{\left(\frac{\omega_\varphi}{z}\right)^2}{\left[\frac{(\omega_\varphi p) \Delta r_i (2\pi S(z) - \Delta r_i z)}{w_\varphi^2 m_i} \right]^2} \right] \tau^2}, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де $p(r)$ - тиск від пульсатора по осі r ;

$r_\Pi, r_\tau, \Delta r_i$ - лінійні розміри радіусу пульсатора, труби і приріст радіусу i -ої компоненти відповідно;

m_i, z - маса i -ої компоненти і число збуджень потоку за один оберт навколо пульсатора;

$\omega_\varphi; S(z)$ - кутова швидкість вихору і ширина перерізу потоку пульсатора;

c, ρ - концентрації і густина i -х компонент відповідно;

I - швидкість приросту маси i -ої складової по координатах;

- рівняння енергії вихорового гетерогенного потоку

$$\rho_i c_p \left(w_r \frac{\partial T}{\partial r} + w_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = w_r \frac{\partial p}{\partial r} + w_z \frac{\partial p}{\partial z} + v' \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial w_r}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{w_r}{r} \right)^2 + \left(\frac{\partial w_z}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial w_r}{\partial r} + \frac{\partial w_z}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial w_\varphi}{\partial r} - \frac{w_\varphi}{r} \right)^2 \right\} - \frac{2}{3} v' \left(\frac{\partial w_r}{\partial r} + \frac{w_\varphi}{r} - \frac{\partial w_z}{\partial z} \right)^2, \quad (6)$$

де v' — коефіцієнт в'язкості при турбулентній течії з високочастотним зовнішнім збуренням від пульсатора;

— рівняння стану по координатах

$$\frac{\partial p}{\partial n} = RT \frac{\partial \rho}{\partial n}, \quad (7)$$

де $n \equiv r, \varphi, z$.

Особливості алгоритму розрахунку математичної моделі вихрового руху (1) - (7) із спіральною траєкторією, що деформується, полягають у наступному: - визначення координат i - ої компоненти здійснюється за її траєкторією уздовж осей r і φ , у площині по нормалі до осі z на кожному кроці інтеграції, на малому інтервалі $\Delta \tau$, згідно з теоремою про середнє значення для обчислення інтеграла по τ, r, φ і z координатам (1-4); - повне прискорення мікрооб'єму визначається як сума нормального, тангенціального і Коріоліса за змінним радіусом r від початкових значень до кінцевих, рівних або більших за радіус вихрової труби (при $r > r_m, r = r_{max}$) від сил, що діють на компоненту (1-4); - швидкість приросту маси i - ої складової за траєкторією руху, від координати до координати визначається через коефіцієнт дифузії залежно від маси густини компоненти, сумарної густини потоку і енергії збурення (5); - оцінка густини гетерогенного вихрового потоку робиться з урахуванням параметрів стану і концентрації на вході у вихровий сепаратор, і зовнішнього збурення, а для зміни густини за радіусом вихору r і координатою z використовується підпрограма розрахунку приросту окремих компонент з густиною $\rho_i = const$ (5-7); - значення $p(r), (p \cdot \omega_\varphi)$, останнє рівняння системи (5), визначаються по результуючих силах, що діють на i - ю компоненту через міделевий перетин [5]; - на початку розрахунку систем (4) і (5) при $\tau = 0$ τ_i в розрахунок не вводяться до того моменту, доки координата z_i для виділеного об'єму не досягне значення рівного $z=2r$, тобто поки вільний вихор повністю не сформується; - визначення сил, що діють на i -у компоненту у виділеному мікрооб'ємі, робиться по кожній координаті як сума векторів сил аеродинамічного опору, Архімеда, тяжіння, відцентрової, рушійної і Коріоліса, потенційного поля в сепараторі, який визначається робочим тиском і збуренням від пульсатора [6]. Для вказаних допущень розроблені окремі підпрограми, звернення до яких робиться логічною послідовністю рішення системи (1-7) для кожної зони. Фізичним моделюванням процесів сепарації була доведена справедливність запропонованої математичної моделі шляхом зіставлення результатів розрахунку з експериментальними даними (рис.1, д) сепарації зер-

нової суміші (пшениці) з параметрами [1, 5, 6] за допомогою напівпромислових вихрових сепараторів [6]. Приведеними експериментами передбачалася тільки оцінка результатів сепарації залежно від геометричного оформлення за один прохід, усі інші газодинамічні параметри залишалися постійними: тиск в зоні вільних вихорів, пульсатора, робочі і витратні параметри. Збільшення продуктивності не передбачалося більш ніж 750 кг/годину. Зони розташувань координат приймачів фракцій 5 обиралися за циліндричним виконанням сепаратора (рис.1, а) [8]. Результати сепарування оцінювалися за:

— коефіцієнтом ефективності сепарування η_e

$$\eta_e = \frac{M'_i}{\sum_{i=0}^{i=n} M_i}, \quad (8)$$

де M'_i — відсепарована i -а маса; n — число приймачів, $0, 1, \dots, n$, яке дорівнює числу фракцій, котрі виділяються; $\sum M_i$ — масовий вміст питомої суміші; — коефіцієнтом чіткості сепарування η_c

$$\eta_c = \frac{M''_i}{\sum_{i=1}^n (M_1 + M_2 + \dots + M_n)}, \quad (9)$$

де M''_i — якісна маса; $\sum_{i=1}^n M_i$ — маса домішок.

Аналіз результатів теоретичних і експериментальних досліджень (рис.1.д) дає переконливі аргументи на вдосконалення форм вихорів газодинамічних сепараторів для зернової суміші, виконаних за схемою [9]. Отримані значення η_c (рис.1.д) показують, що перехід до конусного виконання вихрових зон II і III, тобто зміна координати r , призводить до зростання η_e до граничних значень міри сепарації ($\eta_e = 1$ при ручному розсіванні за допомогою шести сит). Перехід від циліндричної форми до конічної (рис.1, б) η_e дещо збільшується, але в зоні потенційних вихорів практично не відчутно $\eta_e \approx 0,88 - 0,9$, що підтверджує розрахунок. Інша справа конічний сепаратор, вже на першому паску в зоні вимушених вихорів $\eta_e = 0,85$ і збільшується до $0,96$ до п'ятого, шостого паска $4_5, 4_6$. Пояснюється це тим, що усі домішки мають меншу густину, ніж густина зерна, тому виділилися в попередніх пасках ($4_1, 4_2, 4_3, 4_4$). Відносна різниця розрахункових і експериментальних значень η_e по пасках лежить в межах від 3 до 9%, внаслідок похибок, що вносяться визначенням густини компонент зернової суміші при розрахунках. Проте, порядок достатньої збіжності отриманий за один прохід суміші, це по-перше, по-друге, паски 4 і забірники 5 в напівпромислових дослідних зразках сепараторів по осі z розміщені рівномірно, тоді як в розрахунку значення C_r, C_φ, C_z визначалися на кожному кроці інтеграції для визначення параметрів $C_i(\Delta\tau, z(\tau))$ по системі (4, 5) і, в третіх, зміна координат r, φ, z (1) і траєкторій по (1-7) визначалося з обмеженням по максимуму $r_{max}=r_m$, а вісь z за умовією $z \approx (5-5,2)d_t$, до того ж, в сепараторах "с" і "б" $r_i=f(z, \alpha)$, що в розрахунку враховано приростом Δr , система (5), останнє рівняння, яке вступає в дію у кінці

зони сформованих вільних вихорів (зони І). Коефіцієнт чіткості сепарації η_c не змінювався більше ніж на 4 - 6% для будь-якого працюючого паска і тільки в паску 4₆ наближався до значень 8 - 11% від 100% з тих же причин, що і η_e .

Висновки. За результатами дослідження сепарації зерна без сит можна констатувати, що: - сепарація гетерогенних полідисперсних сумішей без сит і рухливих елементів перспективна альтернатива існуючим сепараторам в народному господарстві; - розроблені дослідні напівпромислові вихрові газодинамічні сепаратори для очищення зернової суміші від домішок дають обнадійливі результати по збільшенню ефективності і чіткості сепарації і підтверджують достовірність математичного опису газодинамічних процесів, на основі яких формулюється наукова гіпотеза вихрової сепарації. Наукова гіпотеза авторів, формулюється на своїх дослідженнях, фундаментальних дослідженнях в цьому напрямі і їх аналізі, не піддаючи критиці і необґрунтованості допущень, хронологічно висунених раніше гіпотез про енергетичне розділення вихрових потоків на складові і базується на газодинамічних взаємозв'язках потоків і компонент [5-8]. Ефект нестационарного процесу перерозподілу гетерогенних компонент при вихровому вимушеному асиметричному коливальному русі суміші відносно конічної гвинтової траєкторії вихорів, визначається силовою взаємодією газодинамічних параметрів потенційного поля і енергії зовнішніх збурень з енергетичними параметрами компонент, а зміни взаємодії за часом і координатами являються керуючими кінематичними параметрами виділюваних шуканих компонент. Перспективними є різні сфери застосування вихрових газодинамічних сепараторів, що дозволяють зниження енерговитрат за рахунок усунення численних електроприводів, що покращують екологію при роботі сепараторів по замкнутому циклу, зниженню експлуатаційних витрат за рахунок виключення витрат на обслуговування, ремонт і вартостей сит і вібраторів. Не менш перспективними науковими розробками є напрями, що доводять збільшення повноти згорання в дизельних двигунах за рахунок вихрових процесів [10] і зниження азотно-кислих і сірчано-кислих компонент у відпрацьованих газах при стаціонарному вихровому спалюванні високо-в'язкого мазуту з підвищеним вмістом сірки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Технологические оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. /Под.ред. А.Я.Соколова, — М.: Колос, 1984. — 445 с.
2. Богомоллов А.В. Сепарация трудноразделимых смесей с использованием эффекта Магнуса / А.В. Богомоллов // Вісник ХДТУСГ. — Харків, Вип.22. — 2003. — С.5—21.
3. Тищенко Л.Н. Интенсификация сепарирования зерна / Л.Н.Тищенко — Харьков.: Основа, 2004. — 224с.
4. Кирпа Н.Я. Принципы и способы сепарирования зерновых масс / Н.Я. Кирпа // Хранение и переработка зерна. — Днепропетровск, 2011. — № 4(142), — С.33—36.

5. Успенский В.А., Кирпиченко В.Е. Газодинамический и тепловой расчет вихревого энергоразделителя с пылеприемником // Вихревой эффект и его применение в технике. — Куйбышев: Куйбышевский авиационный ин-т, 1976. — С. 81 — 90.
6. Кнауб Л.В. Газодинамические процессы в вихревых аппаратах. — Одесса: Астропринт, 2003. — 276 с.
7. Кнауб Л.В. Газодинамический вихревой сепаратор. // Вибрации в технике и технологиях. — № 3. — 2002. — С. 9 — 17.
8. Барсуков С.И., Кнауб Л.В. Термодинамика и теплопередача. — Одесса: Астропринт, 2003. — 608 с.
9. Барсуков С.И., Кнауб Л.В. Газодинамическое сепарирование полидисперсных гетерогенных смесей // Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам. — Одесса: ОПУ, 2004. — Вып. №1(17). — С. 90 — 92.
10. Pat. №318086. 23.01.97. Separator (Warszawa). / Knaub L., Klus O., Barsukov S., Myslowcki I. — Biul. N 16. 1988. — 3 p.

МАЛОЭНЕРГОЕМКИЕ ВИХРЕВЫЕ СЕПАРАТОРЫ ГЕТЕРОГЕННЫХ СМЕСЕЙ

Кнауб Л.В.

Ключевые слова: вихревой сепаратор, гетерогенная смесь, коэффициент эффективности, коэффициент четкости, концентрация компонент, аэродинамическое сопротивление, энергоемкость.

Резюме

В статье приведены разработанные опытные полупромышленные вихревые газодинамические сепараторы для очистки зерновой смеси от примесей а также результаты по увеличению эффективности и четкости сепарации, которые подтверждают достоверность математического описания газодинамических процессов, на основании которых формулируется научная гипотеза вихревой сепарации.

LOW POWER VORTEX SEPARATOR HETEROGENEOUS MIXTURES

Knaub L.V.

Key words: vortex separator, a heterogeneous mixture, the efficiency ratio, coefficient definition, the concentration of component aerodynamics resistance, energy consumption.

Summary

The paper presents the developed experimental semi-vortex gas-dynamic separators for cleaning the grain mixture of impurities and the results of increasing the efficiency of separation and definition, which confirm the accuracy of the mathematical description of dynamic processes on the basis of which is formulated as a scientific hypothesis vortex separation.